

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-068786

(43)Date of publication of application : 16.03.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/223
H01L 21/3065
H01L 33/00
H01S 5/343

(21)Application number : 2000-079180

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 21.03.2000

(72)Inventor : HATA TOSHIO

(30)Priority

Priority number : 11178996

Priority date : 24.06.1999

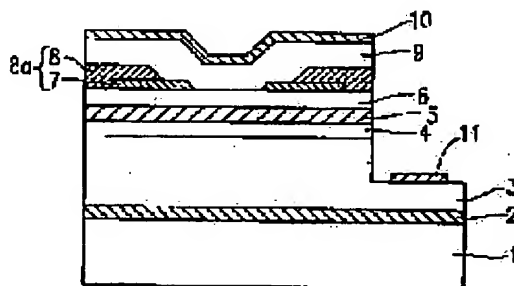
Priority country : JP

(54) NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To decrease a threshold current and forward voltage and improved reliability in the nitride compound semiconductor light-emitting device where a current blocking layer is provided so as to stabilize the lateral mode.

SOLUTION: This nitride compound semiconductor light-emitting device is equipped with an active layer 5 which is pinched between an upper and a lower clad layer, 4 and 6, and a current blocking layer 8a having an opening that serves as a current path is formed on the active layer 5. The current blocking layer 8a is equipped with a conductor layer and an insulating layer 7 at least on the opening under a nitride compound semiconductor layer 8, and the insulating layer 7 functions as an etching stop layer of the nitride compound semiconductor layer 8 when the opening is formed.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

特開2001-68786
(P2001-68786A)

(43)公開日 平成13年3月16日(2001.3.16)

(51)Int.Cl.	発明の分野	FI	予備的(参考)
H01S 5/223		H01S 5/223	5F004
H01L 21/3055		H01L 33/00	C 5F041
H01S 5/343		H01S 5/343	5F073
		H01L 21/302	J

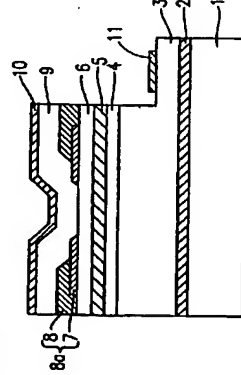
審査請求 未請求 請求項の数15 OL (全12頁)

(21)出願番号	特開2000-7018X(P2000-70180)	(71)出願人	00005046
		シャープ株式会社	
(22)出願日	平成12年3月21日(2000.3.21)	大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号	
(31)優先権主張番号	特開平11-178688	横 敏雄	
(32)優先日	平成11年6月24日(1999.6.24)	大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号	
(33)優先権主張国	日本 (JP)	シャープ株式会社内	
		100076282	
		弁理士 山本 秀策	
		Fターム(参考)	5F004 A008 B004 D000 D004 D011 D019 E023 E008 F008 G0041 C034 CA40 C074 C003 C004 5F073 A007 A013 A051 A053 A074 C007 C005 C007 D005 D022 D025 D035 E023

(54) [発明の名称] 窒化物系化合物半導体発光素子およびその製造方法

(57) [要約]

【課題】 稼モードを安定させるために電流阻止層を設けた窒化物系化合物半導体発光素子において、しきい電流と順方向電圧を低減し、信頼性を向上する。
【解決手段】 上下クラッド層4、6で挟まれた活性層5上に電流通路となる開口部を有する電流阻止層8aが設けられている。この電流阻止層8aは、窒化物系化合物半導体層8の下少なくとも開口部に導電性層と絶縁層7とを有しており、絶縁層7は開口部形成の際に窒化物系化合物半導体層8のエッチングストップ層として機能する。



(2) 特開2001-68786

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板の上に、少なくとも一対のクラッド層と、両クラッド層で挟まれた活性層と、該基板から遠い方のクラッド層上に電流通路となる開口部を有して設けられた電流阻止層とを備えた窒化物系化合物半導体発光素子において、

該電流阻止層が絶縁層と窒化物系化合物半導体層からなり、該窒化物系化合物半導体層の下少なくとも該開口部に該絶縁層を有する窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項2】 前記窒化物系化合物半導体層がIn_aA_{1-b}Ga_{1-x}N_{1-y} (0 ≤ x, 0 ≤ y, 0 ≤ x+y ≤ 1) となる請求項1に記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項3】 前記クラッド層がAl_{1-y}Ga_{1-x}N_{1-y} (0 ≤ y ≤ 1) となり、前記活性層がIn_aGa_{1-x}N_{1-y} (0 ≤ x ≤ 1) となる請求項2に記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項4】 前記絶縁層は、前記開口部を形成する際に前記窒化物系化合物半導体層に対してエッチングストップ層として機能する請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項5】 前記窒化物系化合物半導体層の開口部の幅が、前記絶縁層の開口部の幅よりも大きい請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項6】 前記基板がGaNからなる請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項7】 前記絶縁層の開口部が、他の領域よりも結晶欠陥が少ない領域に形成され、該開口部の下方に位置する活性層領域が該開口部となる請求項1乃至請求項6のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項8】 前記絶縁層の開口部が、その下の窒化物系化合物半導体層の配位密度が10¹⁸/cm²以下の領域に形成されている請求項7に記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項9】 前記絶縁層がSiO₂、Si₃N₄、Al₂O₃およびTiO₂のうちの少なくとも1つからなる請求項1乃至請求項8のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項10】 前記絶縁層がクラッド層上に形成されている請求項1乃至請求項9のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項11】 前記電流阻止層が、前記絶縁層の下に導電性層をさらに有する請求項1乃至請求項10のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項12】 前記導電性層がW、Mo、Ta、Mg、C、Beおよびそれらの合金のうちの少なくとも1つからなる請求項1乃至請求項11のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

2

窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項13】 前記電流阻止層が厚さ1nm以上10nm以下である請求項1乃至請求項12のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項14】 基板の上に下部クラッド層、活性層および上部クラッド層を積層形成し、該上部クラッド層上に電流阻止層となる絶縁層を形成し、該上部クラッド層と該絶縁層を積層形成する工程と、

該窒化物系化合物半導体層にドライエッチングにより開口部を形成し、該絶縁層を露出させる工程とを含む窒化物系化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項15】 基板上に下部クラッド層、活性層および上部クラッド層を積層形成し、該上部クラッド層上に電流阻止層となる導電性層、絶縁層および窒化物系化合物半導体層を積層形成する工程と、

該窒化物系化合物半導体層にドライエッチングにより開口部を形成し、該絶縁層を露出させる工程と、該絶縁層および導電性層にウェットエッチングにより開口部を形成し、該上部クラッド層を露出させる工程とを含む窒化物系化合物半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、青色領域から紫外領域で発光可能な半導体レーザや発光ダイオード等の窒化物系化合物半導体発光素子およびその製造方法に関する。特に、しきい電流を低減するために電流阻止層を設けた窒化物系化合物半導体発光素子およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 青色領域から紫外領域で発光可能な半導体発光素子として、例えば特開平8-97507号公報には図8に示すような窒化ガリウム系化合物半導体レーザが開示されている。

【0003】 この半導体レーザは、サファイヤ基板1、n型GaNバッファ層2、n型GaNコンタクト層3、n型AlGaNクラッド層4、InGaN活性層5、p型AlGaNクラッド層6、内部電流阻止層80およびp型GaNコンタクト層9を順次積層した構造を備えている。p型コンタクト層9の上にはp型電極10が形成され、n型コンタクト層3の露出部上にはn型電極11が形成されている。

【0004】 上記電流阻止層80は、エッチングによって形成されたストライプ状開口部(ストライプ溝)を有しており、p型電極10からn型電極11へ流れる電流は電流阻止層80の開口部を縦に流れるように誘導される。この電流阻止層80には、AlGaN、SiO₂、Si₃N₄およびAl₂O₃等が用いられている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、窒化ガリウム系化合物半導体レーザーのしきい電圧を低減するために、電流阻止層80にエッチングによって開口部を設けた構造が提案されている。

【0006】しかし、この電流阻止層80にエッチングによって開口部を形成する場合、開口部の幅や開口部の形状（横の断面）110を再現性良く形成しなければならぬという問題がある。これは、開口部の幅や開口部の形状がしきい電圧や電流モードに影響を及ぼすからである。

【0007】また、電流阻止層としてAlGaIn等の窒化ガリウム系化合物半導体を用いた場合、現在のところ、電流阻止層に開口部を形成する際に最適なエッチング方法が知られておらず、選択性に優れたエッチングが行えないという問題がある。このため、上記電流阻止層80にストライプ状開口部を形成するためのエッチング6の表面までもエッチングされるおそれがあり、エッチング条件を厳しく調整しない限り再現性の良い形状制御が実現できなかった。

【0008】さらに、エッチング装置によって電流阻止層80にストライプ状開口部を形成した後、その開口部を埋め込むように半導体層（コンタクト層9）を形成させるが、ドライエッチング法では所定長（露出面）にダメージや残留不純物等が導入される。このように露出面に再成長層を形成しても、良好な結晶質を有する再成長層100が得られず、界面層位の原因となった。

【0009】例えば、p型窒化ガリウム系化合物半導体をドライエッチング法によってエッチングし、その開口部p型電極を形成してp型電極間のI（電流）-V（電圧）特性を調べた結果を図3に（c）で示す。この図からI-V特性がオーミック接触になっておらず、ドライエッチングによるダメージや残留不純物等が導入されていることがわかる。

【0010】また、電流阻止層80にストライプ状開口部を形成した後、その開口部を埋め込むように半導体層（コンタクト層9）を再成長させるまでの間に、電流阻止層80のストライプ状底部の隅が塗着不足のために蒸発してしまふ。このため、その上にコンタクト層9を再成長すると、図8に示すような空孔111が形成するという問題も生じていた。

【0011】さらに、電流阻止層80を絶縁層で形成した場合、電流阻止層80の開口部に再成長した領域に、図9に示すような欠陥112が発生し、再成長層には結晶性が悪い層しか得られない。このため、しきい電圧や電流抵抗が増加し、順方向電圧が高くなり、信頼性の優れた半導体素子が得られないという問題があった。

【0012】本発明はこのような従来技術の問題を解決

すべくなされたものであり、発振モードが安定し、しきい電圧と順方向電圧が低減され、信頼性が高い窒化ガリウム系化合物半導体素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体素子は、基板に、少なくとも一対のクラッド層と、両クラッド層間で挟まれた活性層と、該基板から遠い方のクラッド層上に電流阻止層と、該開口部を有して、設けられた電流阻止層とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体素子において、該電流阻止層が絶縁体層と窒化ガリウム系化合物半導体層からなり、該窒化ガリウム系化合物半導体層の下少なくとも該開口部に該絶縁体層を有し、そのことにより上記目的が達成される。

【0014】前記窒化ガリウム系化合物半導体層が $\text{InAlGa}_{1-x-y}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Sb}_y$ （ $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ）からなるのが好ましい。

【0015】前記クラッド層が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）からなり、前記活性層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）からなるのが好ましい。

【0016】前記絶縁体層は、前記開口部を形成する際に前記窒化ガリウム系化合物半導体層に対してエッチングストップ層として機能させることができる。

【0017】前記窒化ガリウム系化合物半導体層の開口部の幅が、前記絶縁体層の開口部の幅よりも大きいのが好ましい。

【0018】前記基板がGaNからなるのが好ましい。

【0019】前記絶縁体層の開口部が、他の領域よりも結晶欠陥が少なく領域に形成され、該開口部の下方に位置する活性層領域が増大部となるのが好ましい。

【0020】前記絶縁体層の開口部が、その下の窒化ガリウム系化合物半導体層の転位密度が $10^4/\text{cm}^2$ 以下の領域に形成されているのが好ましい。

【0021】前記絶縁体層がSiO₂、Si₃N₄、Al₂O₃およびTiO₂のうちの少なくとも1つからなるのが好ましい。

【0022】前記絶縁体層がクラッド層上に形成されているのが好ましい。

【0023】前記電流阻止層が、前記絶縁体層の下に導電層をさらに有するのが好ましい。

【0024】前記導電層がW、Mo、Ta、Mg、C、Beおよびそれらの合金のうちの少なくとも1つからなるのが好ましい。

【0025】前記導電層が厚さ1nm以上10nm以下であるのが好ましい。

【0026】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体素子の製造方法は、基板上に下部クラッド層、活性層および上部クラッド層を順次形成し、該上部クラッド層上に電流阻止層となる絶縁体層および窒化ガリウム系化合物半導体層を順次形成する工程と、該窒化ガリウム系化合物半導体層にド

レイエッチングにより開口部を形成し、該絶縁体層を露出させる工程と、該絶縁体層にウェットエッチングにより開口部を形成し、該上部クラッド層を露出させる工程とを含む、そのことにより上記目的が達成される。

【0027】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体素子の製造方法は、基板上に下部クラッド層、活性層および上部クラッド層を順次形成し、該上部クラッド層上に電流阻止層となる導電層、絶縁体層および窒化ガリウム系化合物半導体層を順次形成する工程と、該窒化ガリウム系化合物半導体層にドライエッチングにより開口部を形成し、該絶縁体層を露出させる工程と、該絶縁体層および該導電層にウェットエッチングにより開口部を形成し、該上部クラッド層を露出させる工程とを含む、そのことにより上記目的が達成される。

【0028】以下、本発明の作用について説明する。

【0029】本発明においては、電流阻止層が窒化ガリウム系化合物半導体層の下少なくとも開口部に絶縁体層を有しており、後述する実施形態1〜実施形態4に示すように、窒化ガリウム系化合物半導体層に開口部を形成する際に絶縁体層をエッチングストップ層として機能させることができるので、再現性の良い形状制御が可能である。また、絶縁体層上に窒化ガリウム系化合物半導体層が設けられておるため、図9に示したような電流阻止層（絶縁体層）80上の成長層の欠陥112も生じない。

【0030】上記基板としては、例えばサファイア基板やGaN基板が用いられる。特に、後述する実施形態4に示すように、GaN基板を用いた場合には、サファイア基板を用いた場合に比べてその上に形成される窒化ガリウム系化合物半導体層の転位が少なく、また、サファイア基板のように基板の反りが生じてSiO₂膜にダメージを与え、その下の窒化ガリウム系化合物半導体層の転位密度が $10^4/\text{cm}^2$ 以下の領域に形成されているのが好ましい。

【0031】後述する実施形態4に示すように、上記絶縁体層を形成する前に、半導体層の表面から転位（結晶欠陥）を排除する方法等により、活性層を横切る転位（貫通転位）をクラッド層まで通過している転位（他の領域よりも少ない領域）の上方に、上記絶縁体層の開口部を形成するのが好ましい。この領域を電流阻止層として、その下方に位置する活性層領域を増大部とすることにより、非発光再結合が減少し、発光効率の高い窒化ガリウム系化合物半導体素子が得られる。さらに、開口部の転位を通じて、例えばMgがヘビードープされたp型コンタクト層から再成長中に活性層にMgが拡散するのを抑えることができるので、活性層の結晶性が悪化せず、発光効率が増加する。

【0032】これに対して、活性層を横切る転位が他の領域よりも多い領域に上記絶縁体層の開口部を形成し、この領域を電流阻止層として、その下方に位置する活性層領域を増大部とすると、非発光再結合が増加し、発光効

率は低い窒化ガリウム系化合物半導体素子しか得ることができない。さらに、開口部の転位を通じて、例えばMgがヘビードープされたp型コンタクト層から再成長中に活性層にMgが拡散するため、活性層の結晶性が悪化し、発光効率が増加する。

【0033】従って、絶縁体層の開口部は、その下の窒化ガリウム系化合物半導体層の転位密度が例えば $10^4/\text{cm}^2$ 以下の領域に形成するのが好ましい。

【0034】絶縁体層は、その上に窒化ガリウム系化合物半導体層が成長可能であり、成長マスク層としての機能を有している。そして、絶縁体層の両側から順方向に結晶成長が進み、その順方向の成長が合体するために、絶縁体層の中心近傍で転位（欠陥）が少なくないように成長させることができる。

【0035】絶縁体層としては、紫外領域での吸収が小さいSiO₂、Si₃N₄、Al₂O₃またはTiO₂等を用いるのが好ましく、それらを2種類以上組み合わせてもよい。絶縁体層は、クラッド層上に形成するのが好ましい。さらに、後述する実施形態3に示すように、n型クラッド層では絶縁体層からSi等の不純物が導入されても特に問題がないので、p型クラッド層よりn型クラッド層上に絶縁体層を形成するのが好ましい。絶縁体層の厚さは、0.05μm以上0.2μm以下であるのが好ましい。絶縁体層の厚さは0.05μmより厚いと電流阻止層により発振モードを制御するのが困難になる。

【0036】さらに、絶縁体層の下部に金属層等の導電層を設けることにより、後述する実施形態2に示すように、絶縁体層から上部クラッド層に不純物が導入されるのを防ぐことができる。さらに、この導電体層は、絶縁体層形成時に、絶縁体層形成元素が下部へ導入するのを防止するための保護層としても機能する。

【0037】導電体層としては、高融点金属であるW、Mo、Ta等、またはp型不純物となりえるMg、C、Be等を用いるのが好ましく、それらの合金や複合膜を組み合わせて用いてもよい。また、導電体層の厚さは1nm以上10nm以下であるのが好ましい。これは、導電体層の厚さが1nm未満では絶縁体層形成時に絶縁体層を構成する元素がクラッド層へ侵入するのを防ぐことができず、10nmを超えると活性層からの光が導電体層に吸収される影響が大きいためである。さらに、好ましくは5nm以上10nm以下である。

【0038】本発明においては、上部クラッド層上に絶縁体層と窒化ガリウム系化合物半導体層と絶縁体層を順次形成してドライエッチングにより絶縁体層を露出させ、その後、ウェットエッチングにより上部クラッド層を露出させることにより、ドライエッチングによるダメージや残留不純物がクラッド層表面やその上の再成長層であるコンタクト層に導入されない。例えば、絶縁体層とp型窒

化物系化合物半導体を積層形成して絶縁体層までドライエッチング法によりエッチングし、その後、ウェットエッチング法により上部クラッド層を露出させてその表面にp型電極を形成した場合、p型電極面の1-V特性は図3に(a)で示すようになる。よって、ドライエッチングによるダメージや残留不純物等が導入されておらず、1-V特性がオーミック接触に近いものになっていることがわかる。これに対して、従来のようにp型窒化物系化合物半導体をドライエッチング法にてエッチングし、その表面にp型電極を形成してp型電極面の1-V特性を調べると、図3に(c)で示すようになる。よって、ドライエッチングによるダメージや残留不純物等が導入され、1-V特性がオーミック接触になっていないことがわかる。

【0039】さらに、他の本発明においては、上部クラッド層上に導電性層と絶縁性層と窒化物系化合物半導体層とを積層形成してドライエッチングにより絶縁体層を露出させ、その後、ウェットエッチングにより上部クラッド層を露出させることにより、ドライエッチングによるダメージや残留不純物等がクラッド層表面やその上の導電性層であるコンタクト層に導入されない。例えば、導電性層と絶縁性層とp型窒化物系化合物半導体を積層形成して絶縁体層までドライエッチング法にてエッチングし、その後、ウェットエッチングにより上部クラッド層を露出させてその表面にp型電極を形成した場合、p型電極面の1-V特性は図3に(b)で示すようになる。よって、ドライエッチングによるダメージや残留不純物等が導入されておらず、1-V特性がオーミック接触になってさらに好ましい特性が得られていることがわかる。

【0040】さらに、窒化物系化合物半導体層の開口部の幅は絶縁体層の開口部の幅よりも大きくすることができ、 $1.0 \times 10^{-4} \text{m}$ (0.05 μm 、 $0.05 \leq t \leq 1$) 等の窒化物系化合物半導体層を用いても、図8に示したように電流阻止層80のストライプ状開口部の幅が窒素不足のために蒸発する、空間111も発生しない。
【0041】上記窒化物系化合物半導体層は、Al_{1-x}Ga_xN (0.05 $\leq x \leq 1$) となり、クラッド層がAl_{1-x}Ga_xN (0.05 $\leq x \leq 1$) となり、活性層がIn_{1-x}Ga_xN (0.05 $\leq x \leq 1$) となる量子井活性層であるのが好ましい。

【0042】
【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。以下の実施形態では半導体レーザ素子について説明するが、発光ダイオードについても適用可能であることは言うまでもない。なお、本発明において、窒化物系化合物半導体とは、In_{1-x}Al_xGa_{1-x}N

1-x₁-x₂N (0.05 $\leq x_1, 0.05 \leq x_2, x_1 + x_2 \leq 1$) を含むものとす。さらに、V族元素としてAsやPを含むこともできる。
【0043】(実施形態1) 図1は本発明の一実施形態である窒化ガリウム系化合物半導体レーザの構成を示す断面図である。

【0044】この半導体レーザは、サブファイバ基板1上に、厚さ50nm程度のGa_{0.98}Nバンプア層2、厚さ3μm程度のn型Ga_{0.98}Nコンタクト層3、厚さ0.5μm程度のp型Al_{0.98}Ga_{0.02}Nクラッド層4、厚さ3nmのノンドープIn_{0.98}Ga_{0.02}Nクラッド層5および厚さ0.3μm程度のp型(Mgドープ)Al_{0.98}Ga_{0.02}Nクラッド層6、厚さ0.1μmの絶縁体(本実施形態ではSiO₂)層7と厚さ0.3μmのn型Ga_{0.98}N層8とからなる電流阻止層8aおよび厚さ0.3μmのp型(Mgドープ)Ga_{0.98}Nコンタクト層9を順次積層した構造を備えている。n型クラッド層4、活性層5、p型クラッド層6、電流阻止層8aおよびp型コンタクト層9はn型コンタクト層3を露出させるようにその一部が除去されている。p型コンタクト層9の上にはp型電極10が形成され、n型コンタクト層3の露出部上にはn型電極11が形成されている。

【0045】本実施形態では、活性層5の選択された領域(本実施形態では共振延長方向に延びるストライプ状の領域)に電流供給となるストライプ状開口部を有し、このストライプ状開口部の幅はレーザ発振のモードを調整するように決定されている。その開口部にはGa_{0.98}N層8の下に絶縁体(SiO₂)層7が設けられ、Ga_{0.98}N層8の開口部の幅は絶縁体層7の開口部の幅より大きく設定されている。絶縁体層7はGa_{0.98}N層8に対するエッチングストップ層としての機能を有している。

【0046】この半導体レーザは、例えば以下のようにして作製することができる。
【0047】窒化物系化合物半導体層の形成は有機金属化合物気相成長法(MOCVD法)により行い、V族原料としてアンモニア(NH₃)、III族原料としてトリメチルガリウム(TM₃G)、トリメチルアルミニウム(TM₃Al)およびトリメチルインジウム(TM₃In)、p型不純物としてビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)、n型不純物としてモノシラン(SiH₄)を用い、キャリアガスとしてH₂およびN₂を用いる。

【0048】上記MOCVD法により1回目の結晶成長を行うためにサブファイバ基板1を図示しないMOCVD装置のサセプタ上に配置し、H₂雰囲気中、基板温度1200℃程度まで昇温することにより基板1の表面に対して清浄化処理を施す。

【0049】次に、基板温度を1000℃程度まで降下し、図2に示すように基板1の上に厚さ50nm程度のGa_{0.98}Nバンプア層2、厚さ3μm程度のn型Ga

Nコンタクト層3、厚さ0.5μm程度のn型Al_{0.98}Ga_{0.02}Nクラッド層4を成長させる。続いて、基板温度を700℃程度まで降下し、厚さ3nmのノンドープIn_{0.98}Ga_{0.02}N活性層5を成長させる。その後、基板温度を1000℃程度まで昇温し、厚さ0.3μm程度のp型(Mgドープ)Al_{0.98}Ga_{0.02}Nクラッド層6を成長させる。これらの半導体層の成長は、基板をMOCVD装置の成長室から取り出すことなく連続的に行う。

【0050】その後、上記半導体層が積層された基板を成長室から一旦取り出し、電子ビーム蒸着法、スパッタリング蒸着法、化学気相成長(CVD)法等によりSiO₂からなる絶縁体層を成長させる。そして、通常のフォトリソグラフィ技術およびエッチング技術によって、図2(b)に示すように絶縁体層7をクラッド層6上に形成する。本実施形態では、SiO₂からなる絶縁体層7を幅20μm、厚さ0.1μm、周期500μmに形成した。

【0051】次に、2回目の結晶成長を行うため、再び基板をMOCVD装置のサセプタ上に配置し、基板温度を1000℃程度まで昇温する。そして、図2(c)に示すように厚さ0.3μmのn型Ga_{0.98}N層8を絶縁体層7とクラッド層5の上にわたって成長させる。このとき、Ga_{0.98}N層8はSiO₂絶縁体層7の両側から横方向に成長し、横方向成長同士が合体する。このため、絶縁体層7の中央部近傍に絶縁体層7と平行方向に結晶欠陥16が発生するのが表面から見てわかる。

【0052】その後、上記半導体層が積層された基板を成長室から一旦取り出し、n型Ga_{0.98}N層8上にレジストマスク12aを形成する。このとき、n型Ga_{0.98}N層8の結晶欠陥16をマスク合わせのマークとして用いる。図2(d)に示すように、この領域のレジストマスクを除去し、レジストマスク12aで覆われていないn型Ga_{0.98}N層8部分を選択的にエッチングする。このエッチングに際して絶縁体層7がエッチングストップ層として機能し、絶縁体層7の表面13が露出した時点で容易に再現実性良くなエッチングを停止させることができる。このエッチングは、例えばR₁Si₂/C₁H₃等のガスを用いて絶縁体層7が露出するまで行う。本実施形態では露出した絶縁体層7の幅を7μmとした。その後、有機溶剤によってマスク12aを除去する。

【0053】次に、図2(e)に示すように、n型Ga_{0.98}N層8と絶縁体層7の一部の上にレジストマスク12bを形成する。そして、ウェットエッチングによって絶縁体層7をクラッド層6の表面14が露出するまでエッチングする。本実施形態では露出したクラッド層6の幅を3μmとした。その後、有機溶剤によってマスク12bを除去する。

【0054】続いて、3回目の結晶成長を行うため、再び基板をMOCVD装置のサセプタ上に配置し、基板温度を1000℃程度まで昇温する。そして、図2(f)に示すように、厚さ0.3μmのMgドープGa_{0.98}Nコンタクト層9を成長させる。このとき、クラッド層6の露出表面14はドライエッチング時のダメージや不純物等による表面位等の影響を受けることなく、MOCVD装置内で良好な状態の清浄表面が維持されている。このような良好な状態の清浄表面の上に再成長が行われるので、結晶性に優れた良好な再成長層が形成される。

【0055】その後、上記半導体層が積層された基板をMOCVD装置から取り出し、図示しないレジストマスクを用いてドライエッチング技術によりn型コンタクト層3表面15を露出させる。次に、N₂雰囲気中、0℃の熱アニーリングを行ってMgドープ層をp型に転化させる。

【0056】最後に、p型コンタクト層9の上にp型電極10を形成し、n型コンタクト層3の露出表面15上にn型電極11を形成して図2(g)に示す本実施形態の半導体レーザが得られる。

【0057】この半導体レーザは、図示しない電流供給回路からp型電極10およびn型電極11に電圧が与えられ、半導体積層構造の中をp型電極10からn型電極11へと電流が流れる。このとき、電流はn型Ga_{0.98}N層8と絶縁体層7からなる電流阻止層8aによってブロックされるので、電流が誘導されながら電流阻止層8aの開口部を上から下へ流れる。これにより、横モードの制御されたレーザ発振が生じ、波長が青色領域から紫外領域にあるレーザ光が得られる。

【0058】さらに、本実施形態によれば、p型窒化物系化合物半導体層(p型クラッド層とp型コンタクト層)をドライエッチングに際してエッチングストップ層を形成することができ、ドライエッチング時のダメージや残留不純物等による界面位等が生じない。よって、図3(a)に示すようなオーミック接触に近い1-V特性が得られると同様な良好な再成長層が得られる。

【0059】n型Ga_{0.98}N層8の開口部の幅は絶縁体層7の幅よりも大きく設定されているので、図8に示した従来の半導体装置の開口部に生じていたような内部電流阻止層80の開口部底面の隅の空間111が生じない。

【0060】さらに、電流誘導部(開口部)の幅や形状をウェットエッチング法により所望の形状に形成することができる。

【0061】電流阻止層8aの絶縁体層7はGa_{0.98}N層8に対してエッチングストップ層として機能するため、エッチングの停止を容易に再現性良く制御することができ、ダメージや残留不純物等による界面位も低減される。

ードが形成され、しきい値電流および順方向電圧が低減し、信頼性に優れた酸化ガリウム系化合物半導体レーザを実現することができた。

【0063】（実施形態2）本実施形態では、絶縁体層の下層に導電体層を設けた例について説明する。

【0064】図4は実施形態2の酸化ガリウム系化合物半導体レーザの構成を示す断面図である。

【0065】この半導体レーザは、サファイア基板1上に、厚さ50nm程度のGa_{0.95}N_{0.05}バッファ層2、厚さ4μm程度のn型Ga_{0.95}N_{0.05}クラッド層3、厚さ0.5μm程度のp型Al_{0.95}Ga_{0.05}Nクラッド層4、厚さ3nmのIn_{0.15}Ga_{0.85}N量子井戸層5が3層と、厚さ4nmのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層6が2層とからなる多量量子井戸構造を有する。また、障壁層6は、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、化学気相成長（CVD）法等によりSiO₂からなる絶縁体層を成長させる。そして、通常

のフォトソリッドグラフィック技術およびエッチング技術によつて、図5（b）に示すように導電体層71と絶縁体層72をクラッド層3の上に形成する。本実施形態では、Mgからなる導電体層71を幅6μm、厚さ5μm、周期50

0μmに形成し、SiO₂からなる絶縁体層72を幅20

μm、厚さ0.1μm、周期500μmに形成した。

【0072】次に、2回目の結晶成長を行うため、再び

基板をMOCVD装置のサセブタ上に配置し、基板温度

を1000℃程度まで昇温する。そして、図5（c）に

示すように厚さ0.3μmのn型Al_{0.95}Ga_{0.05}N層8を絶縁体層7とクラッド層6の上にわたって成長させ

る。このとき、AlGa_{0.95}N層8はSiO₂絶縁体層7の

両側から側方向成長し、側方向成長層同士が合体して

このため、絶縁体層7の中央部近傍に絶縁体層7と平行

方向に結晶欠陥16が発生するのが表面から見てもわか

る。

【0073】その後、上記半導体層が形成された基板を

成長室から一旦取り出し、n型AlGa_{0.95}N層8上にレジ

ストマスク12aを形成する。このとき、n型AlGa_{0.95}N層8の結晶欠陥16をマスク合わせのマークとして

用いることができるので、マスク合わせが容易となる。

そして、図5（d）に示すように、この領域のレジスト

マスクを除去し、レジストマスク12aで覆われていな

いn型AlGa_{0.95}N層8部分を選択的にエッチングする。

このエッチングに際して絶縁体層7がエッチングストッ

プ層として機能し、絶縁体層7の表面13が露出した時

点で容易に再現性よくエッチングを停止させることがで

きる。このエッチングは、例えばRIE（反応性イオン

エッチング）によりBCl₃/Cl₂/SiCl₄等のガ

スを用いて絶縁体層7が露出するまで行う。本実施形態

では露出した絶縁体層7の幅を7μmとした。その後、

有線露光によってマスク12aを除去する。

【0074】次に、図5（e）に示すように、n型Al_{0.95}

Ga_{0.05}N層8と絶縁体層7の一部の上にレジストマスク1

2bを形成する。そして、ウェットエッチングによって

絶縁体層7および導電体層71をクラッド層6の表面14が露出するまでエッチングする。本実施形態では露出したクラッド層6の幅を3μmとした。その後、有機溶剤によりマスク12bを除去する。

【0075】続いて、3回目の結晶成長を行うため、再び基板をMOCVD装置のサセブタ上に配置し、基板温度を1000℃程度まで昇温する。そして、図5（f）に示すように、厚さ0.3μmのMgドープGa_{0.95}Nクラッド層9を成長させる。このとき、クラッド層6の露出表面14はドライエッチング時のダメージや不純物の侵入による表面凹凸等の影響を受けるとなく、MOCVD装置内で良好な状態の滑らかな表面が維持されている。このような良好な状態の滑らかな表面の上に再成長が行われるので、結晶性に優れた良好な再成長層が形成される。

【0076】その後、上記半導体層が形成された基板をMOCVD装置から取り出し、図示しないレジストマスクを用いてドライエッチング技術によりn型コンタクト層3表面15を露出させる。次に、N₂雰囲気中、750℃の熱アニーリングを行ってMgドープ層をp型に変化させる。

【0077】最後に、p型コンタクト層9の上にp型電極10を形成し、n型コンタクト層3の露出表面15上にn型電極11を形成して図5（g）に示す本実施形態の半導体レーザが得られる。

【0078】この半導体レーザは、図示しない電流供給回路からp型電極10およびn型電極11に電圧が与えられ、半導体層内部の電流がp型電極10からn型電極11へと電流が流れる。このとき、電流はn型AlGa_{0.95}N層8と絶縁体層71からなる電流阻止層8bによってブロックされるので、電流が表面側を流れる。これにより、電流阻止層8bの開口部を上から下へ流れる。これにより、横モードの制御されたレーザ発振が生じ、波長が青色領域から赤外線領域にあるレーザ光が得られる。

【0079】さらに、本実施形態によれば、p型化合物半導体層（p型クラッド層とp型コンタクト層）をドライエッチングに際してエッチングストッパ層を形成することができるので、ドライエッチング時のダメージや残留不純物混入等による表面凹凸が生じない。よって、図5（h）に示すようなオーミック接触の1-V特性を得られると同様な良好な再成長層が得られる。

【0080】n型AlGa_{0.95}N層8の開口部の幅は絶縁体層7の幅よりも大きく設定できるので、図8に示した従来の半導体構造に生じていたような内部電流阻止層80の開口部近辺の閉塞の空間111が生じない。

【0081】さらに、電流制御層（開口部）の幅や形状をウェットエッチング法により制御しやすく形成することができる。

【0082】電流阻止層8bの絶縁体層7はAlGa_{0.95}N層8に対してエッチングストップ層として機能するた

め、エッチングの停止を容易に再現性よく制御することができ、ダメージや残留不純物等による界面凹凸も低減される。

【0083】さらに、本実施形態では、p型クラッド層6上に直接絶縁体層7を形成するのではなく、導電体層71を形成しているため、Si等の不純物がp型クラッド層6に堆積されず、絶縁体形成時の酸素やSi等の不純物がp型クラッド層6に混入するのを防ぐための保護層としても機能する。よって、実施形態1の半導体レーザよりもさらに順方向電圧を低減することができる。

【0084】このように、本実施形態においては、横モードが制御され、しきい値電流および順方向電圧が低減し、信頼性に優れた酸化ガリウム系化合物半導体レーザを実現することができた。

【0085】なお、本実施形態では導電体層71が露出するように形成したが、導電体層71の形成層を開口部の幅と同じに形成し、p型クラッド層9表面14を露出させるためのエッチング工程において導電体層71を全て除去してもよい。さらに、導電体層71は絶縁体層7より幅が狭くされているが、絶縁体層7の下全面に設けることもできる。

【0086】（実施形態3）本実施形態では、n型クラッド層上に絶縁体層を設けた例について説明する。

【0087】図6は実施形態3の酸化ガリウム系化合物半導体レーザの構成を示す断面図である。

【0088】この半導体レーザは、サファイア基板1上に、厚さ50nm程度のGa_{0.95}N_{0.05}バッファ層2、厚さ3μm程度のp型（Mgドープ）Ga_{0.95}N_{0.05}クラッド層3、厚さ0.5μm程度のp型（Mgドープ）Al_{0.95}Ga_{0.05}Nクラッド層4、厚さ3nmのIn_{0.15}Ga_{0.85}N量子井戸層5が3層と、厚さ4nmのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層6が2層とからなる多量量子井戸構造を有する。また、障壁層6は、電子ビーム蒸着法、スパッタリング法、化学気相成長（CVD）法等によりSiO₂からなる絶縁体層を成長させる。そして、通常

のフォトソリッドグラフィック技術およびエッチング技術によつて、図5（b）に示すように導電体層71と絶縁体層72をクラッド層3の上に形成する。本実施形態では、Mgからなる導電体層71を幅6μm、厚さ5μm、周期50

0μmに形成し、SiO₂からなる絶縁体層72を幅20

μm、厚さ0.1μm、周期500μmに形成した。

【0072】次に、2回目の結晶成長を行うため、再び

基板をMOCVD装置のサセブタ上に配置し、基板温度

を1000℃程度まで昇温する。そして、図5（c）に

示すように厚さ0.3μmのn型Al_{0.95}Ga_{0.05}N層8を絶縁体層7とクラッド層6の上にわたって成長させ

る。このとき、AlGa_{0.95}N層8はSiO₂絶縁体層7の

両側から側方向成長し、側方向成長層同士が合体して

このため、絶縁体層7の中央部近傍に絶縁体層7と平行

方向に結晶欠陥16が発生するのが表面から見てもわか

る。

【0073】その後、上記半導体層が形成された基板を

成長室から一旦取り出し、n型AlGa_{0.95}N層8上にレジ

ストマスク12aを形成する。このとき、n型AlGa_{0.95}N層8の結晶欠陥16をマスク合わせのマークとして

用いることができるので、マスク合わせが容易となる。

そして、図5（d）に示すように、この領域のレジスト

マスクを除去し、レジストマスク12aで覆われていな

いn型AlGa_{0.95}N層8部分を選択的にエッチングする。

このエッチングに際して絶縁体層7がエッチングストッ

プ層として機能し、絶縁体層7の表面13が露出した時

点で容易に再現性よくエッチングを停止させることがで

きる。このエッチングは、例えばRIE（反応性イオン

エッチング）によりBCl₃/Cl₂/SiCl₄等のガ

スを用いて絶縁体層7が露出するまで行う。本実施形態

では露出した絶縁体層7の幅を7μmとした。その後、

有線露光によってマスク12aを除去する。

【0074】次に、図5（e）に示すように、n型Al_{0.95}

Ga_{0.05}N層8と絶縁体層7の一部の上にレジストマスク1

2bを形成する。そして、ウェットエッチングによって

1に対するエッチングストップ層としての機能を有している。

[0090] この半導体レーザの製造において、各層の成長法、V族原料、III族原料、p型不純物、n型不純物、キャリアガスは実施形態1と同様のものを用いることができる。

[0091] この半導体レーザは、図示しない電流供給回路からp型電極10およびn型電極11に電圧が与えられ、半導体積層構造の中をp型電極10からn型電極11へと電流が流れる。このとき、電流はp型Ga_{0.9}N層81と絶縁体層7からなる電流阻止層8cによってブロックされるので、電流が誘導されながら電流阻止層8cの開口部を上から下へ流れる。これにより、横モードの励起されたレーザ発光が生じ、波長が青色領域から紫外領域にあるレーザ光が得られる。

[0092] さらに、本実施形態によれば、n型窒化物系化合物半導体層(n型クラッド層)とn型コンタクト層をドライエッチングに際して内部電流阻止層(電流通過)を形成することができるので、ドライエッチング時のダメージや残留不純物等による界面準位が生じない。

[0093] p型Ga_{0.9}N層81の開口部の幅は絶縁体層7の幅よりも大きく設定できるので、図8に示した従来の半導体発光素子に生じようような内部電流阻止層80の開口部底面の開口部の空間111が生じない。

[0094] さらに、電流誘導部(開口部)の幅や形状をウェットエッチング法により制御性良く形成することができる。

[0095] 電流阻止層8cの絶縁体層7はGa_{0.9}N層81に対してエッチングストップ層として機能するため、エッチングの停止を容易に再現性良く制御することができる。ダメージや残留不純物等による界面準位も低減される。

[0096] さらに、本実施形態では、SiO₂絶縁体層7がn型クラッド層61上に形成されており、SiO₂絶縁体層7の形成時にn型クラッド層61にSi₃N₄等が混入しても、Si₃N₄は窒化物系化合物半導体に対してn型不純物として働くため、特に問題が生じない。実際に素子を作製した場合、実施形態2で得られた順方向電圧よりも若干高値であるが、問題ない程度であった。

[0097] このように、本実施形態においては、横モードが励起され、しきい値電流および順方向電圧が低減し、信頼性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現することができる。

[0098] (実施形態4) 本実施形態では、導電性Ga_{0.9}N基板を用いた例について説明する。

[0099] 図7は実施形態4の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの構造を示す断面図である。

[0100] この半導体レーザは、n型Ga_{0.9}N基板21上に、厚さ3μm程度のn型Ga_{0.9}Nコンタクト層3、厚

[0108] さらに、本実施形態では、Ga_{0.9}N基板21を用いているため、その上のクラッド層6に存在する転位がサブファイバ基板を用いた場合に比べて少ない。よって、クラッド層6表面から転位を観察して、転位の少ない領域上に絶縁体層7を形成し、例えば転位密度が10¹/cm²以下の領域上に形成することができる。その上にGa_{0.9}N層8を積層して電流阻止層8aを形成し、この電流阻止層8aに開口部を形成することにより、転位の少ない領域に電流通路を形成することができる。

[0109] 従って、本実施形態では、横モードが励起され、実施形態1〜実施形態3の半導体レーザよりもさらにしきい値電流および順方向電圧が低減し、信頼性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現することができる。

[0110] なお、Ga_{0.9}N基板の面方位については、(0001)面、(1-100)面、(11-20)面、(1-101)面、(11-22)面(01-12)面等が好ましく、これらの面方位から±2度程度ずれていても本実施形態と同様の効果が得られることを確認している。

[0111] 上記絶縁体層7は、その上に窒化ガリウム系化合物半導体層が成長可能なものであり、成長マスク層としての機能を有している。特に、SiO₂、Si₃N₄、Al₂O₃またはTiO₂等、紫外領域での吸収が小さい材料を用いるのが好ましい。

[0112] [発明の効果] 以上述べたように、本発明によれば、電流阻止層の絶縁体層を窒化物系化合物半導体層のエッチングストップ層として機能させることができるので、再現性良くエッチングを停止させて制御性良く開口部の形状を制御することができる。

[0113] 電流阻止層の下に窒化物系化合物半導体層をドライエッチングに際して電流の誘導部(電流通過)を形成することなく、ドライエッチングによるダメージや残留不純物がクラッド層表面やその上の育成層であるコンタクト層に導入されず、良好なI-V特性が得られる。

[0114] さらに、絶縁体層の下層に導電層を設けることにより、絶縁体層を直接上部クラッド層に形成した場合のように絶縁体層形成時に不純物がクラッド層に堆積されるのを防ぐことができる。

[0115] 電流阻止層の窒化物系化合物半導体層の開口部の幅は絶縁体層の開口部の幅よりも大きくすることにより、従来のように電流阻止層のストライプ状溝底の隅に空間が生じることはない。

[0116] 電流誘導部(開口部)の幅や形状はウェットエッチング法で形成できるので、ドライエッチング法よりはダメージが少ない開口部や開口部の底面が形成でき、制御性良く電流誘導部を形成して、しきい値電流や発振モードを安定させることができる。

[0117] 従って、本発明によれば、横モードが励起され、しきい値電流および順方向電圧が低減し、信頼性に優れた窒化物系化合物半導体発光素子を実現することができる。

[0118] 特に、Ga_{0.9}N基板を用いた場合には、その上に形成される窒化物系化合物半導体層の転位を少なくすることができ、例えば転位密度が10¹/cm²以下の領域の上に上記絶縁体層の開口部を形成することができ、その結果、非発光再結合を減少させることができ、また、活性層の結晶性を悪化させることもない。さらに発光効率の高い窒化物系化合物半導体発光素子を得ることができる。

[図面の簡単な説明]
[図1] 実施形態1の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの構造を示す断面模式図である。

[図2] 実施形態1の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造工程を説明するための断面模式図である。

[図3] 実施形態1および実施形態2の窒化ガリウム系化合物半導体レーザと従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザについて、I-V特性を示す図である。

[図4] 実施形態2の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの構造を示す断面模式図である。

[図5] 実施形態2の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造工程を説明するための断面模式図である。

[図6] 実施形態3の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの構造を示す断面模式図である。

[図7] 実施形態4の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの構造を示す断面模式図である。

[図8] 従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの構造を示す断面模式図である。

[図9] 従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの構造を示す断面模式図である。

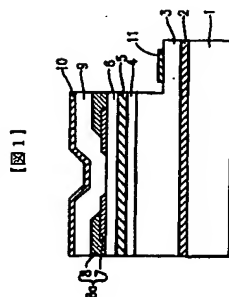
[符号の説明]

- 1 サブファイバ基板
- 2 パッド層
- 3、91 n型コンタクト層
- 4、61 n型クラッド層
- 5 活性層
- 6、41 p型クラッド層
- 7 電流阻止層(絶縁体層)
- 8 電流阻止層(Ga_{0.9}N層)
- 8a、8b、8c 電流阻止層
- 9、31 p型コンタクト層
- 10 p型電極
- 11 n型電極
- 12a、12b レジストマスク
- 13 絶縁体層の露出面
- 14 p型クラッド層の露出面
- 15 n型コンタクト層の露出面
- 50 16 結晶欠陥

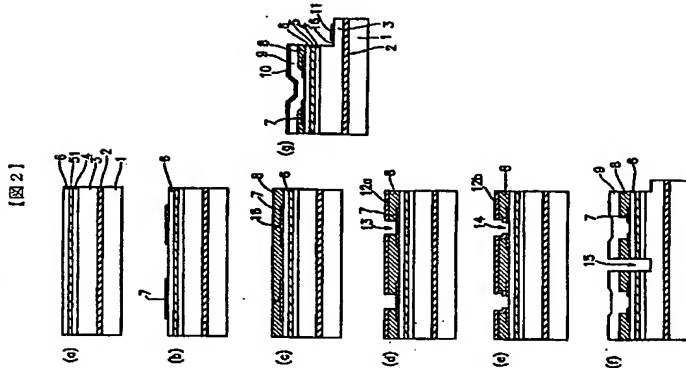
61

20

21 GAN基板



71 電流阻止層 (導電層)
81 電流阻止層 (AlGaIn)



p型酸化増系化合物半導体層表面にp型電荷を形成したp型電荷層の電流、電圧の關係

